

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALTO IPANEMA, NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

*Paulo Ivan Damson Macamo¹; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro²; Delfina Alexandre³
Aline Maria Soares das Chagas⁴; Carolyne Wanessa Lins de Andrade Farias⁵ Monaliza Araújo de
Santana⁶*

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo estudar a probabilidade de ocorrência de chuvas intensas, onde calibrou-se a equação de intensidade-duração-frequência (curva IDF) para seis estações pluviométricas na Bacia Hidrográfica do Rio Alto Ipanema, no semiárido Pernambucano. Com dados pluviométricos diários de 2000 a 2024 das estações de PCPS, PCPO4, PCPO1, PCPO3-208, PCP2 e PCP1-828 foram analisados. Foi ajustada satisfatoriamente a distribuição do Gumbel aos dados de chuvas máximas anuais, permitindo desta forma estimar as chuvas máximas diárias para diferentes períodos de retorno. A disagregação da chuva máxima diária foi realizada para obter as intensidades da chuva correspondente as durações de 24 horas a 5 minutos, usando o método do CETESB. O ajuste da equação IDF de Pfafstetter mostrou ter bom desempenho, com os coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,98 para a maioria das estações, permitindo, assim, sua aplicação no suporte ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos na região estudada.

ABSTRACT – This study aimed to analyze the probability of occurrence of intense rainfall events by calibrating the intensity-duration-frequency (IDF) equation for six rain gauge stations in the Alto Ipanema River Basin, located in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. Daily rainfall data from 2000 to 2024 were analyzed for the stations PCPS, PCPO4, PCPO1, PCPO3-208, PCP2, and PCP1-828. The Gumbel distribution was satisfactorily fitted to the annual maximum rainfall data, enabling the estimation of maximum daily rainfall for different return periods. Disaggregation of the daily maximum rainfall was performed to obtain rainfall intensities corresponding to durations ranging from 24 hours to 5 minutes, using the CETESB method. The fitting of the Pfafstetter IDF equation demonstrated good performance, with coefficients of determination (R^2) above 0.98 for most stations, thus supporting its application in the planning and management of water resources in the studied region.

1) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife – PE – CEP: 52171-900. E-mail: paulodamsonmac@gmail.com

2) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife – PE – CEP: 52171-900. E-mail: montenegro.ufrpe@gmail.com

3) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife – PE – CEP: 52171-900. E-mail: delfinajose65@gmail.com

4) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife – PE – CEP: 52171-900. E-mail: alinemschagas@gmail.com

5) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife – PE – CEP: 52171-900. E-mail: carolynelins.ufpb@gmail.com

6) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife – PE – CEP: 52171-900. E-mail: monaliza.araujo@ufrpe.br

Palavras-Chave – Equação de IDF, Desagregação da chuva, Tempo de retorno

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas é um tema amplamente discutido por pesquisadores nos últimos anos, tornando-se um grande desafio para a gestão hídrica, a produção agrícola, e diversos outros setores. Entre os impactos mais notórios deste fenômeno global destacam-se eventos extremos de chuva e de seca. Segundo Blenkinsop et. al., 2021 as evidências mostram um claro consenso de que as mudanças climáticas estão causando um aumento na intensidade das chuvas extremas. Este conhecimento é um fator determinante, pois além dos impactos negativos em diversos segmentos socioeconômicos, pode levar a desastres naturais.

O semiárido pernambucano caracteriza-se por um regime pluviométrico irregular e concentrado em curtos períodos do ano, este período chuvoso é concentrado nos primeiros seis meses do ano, com um período mais seco nos últimos seis meses, refletindo no acúmulo de água a superfície, que escoa para os reservatórios hídricos da região (Alves et. al., 2017). Portanto análise de chuvas intensas é essencial para o planejamento e gestão de recursos hídricos e infraestrutura regional. Esses eventos extremos podem ser previstos, analisados e ter seus impactos mitigados por meio de abordagens estatísticas que fazem a correlação entre intensidade, duração e frequência das precipitações, bem como a avaliação do tempo de retorno associado às ocorrências.

As análises dos eventos extremos das chuvas tem sido um dos principais tópicos, na área da hidroclimatologia, devido aos impactos das adversidades das chuvas intensas (Loo et al., 2015). O ciclo hidrológico de uma região é influenciado por estes eventos, de maneira que estudar as situações extremas das chuvas que podem ser representadas por equações que modelem a associação entre as grandezas observadas estatisticamente. A variação natural da precipitação ocasiona impactos ambientais, sociais e econômicos, sendo os impactos sociais os mais preocupantes, sejam como causa ou consequência (Barbino et. al. 2024).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em especial o ODS 6 que visa: assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, acende um alerta quanto ao fortalecimento da gestão dos recursos hídricos, para que os impactos desse evento sejam minimizados e assegurando o uso eficiente da água para múltiplos fins.

Geralmente os modelos matemáticos que abordam das chuvas extremas são calibrados a partir de uma série de dados pluviométricos em cada região, porém esses dados são escassos na maioria das regiões (Silva Neto et al., 2016). Desta forma, o uso de métodos de desagregação de chuvas de um dia, servem como alternativa para calibrar equações de Intensidade, Duração e Frequência (IDF) possibilitando a melhor qualidade de informações sobre chuvas intensas (Sabino et. al., 2022).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar a probabilidade de ocorrência de eventos extremos e modelar a equação intensidade-duração-frequência (IDF), como uma alternativa para regiões com escassez de registros pluviométricos, permitindo maior representatividade e precisão na modelagem. Com pesquisas e desenvolvimento de metodologias adaptadas para a realidade da bacia representativa do Alto Ipanema, no semiárido Pernambucano, fortalecendo as ações de gestão frente aos desafios das mudanças climáticas nesta região.

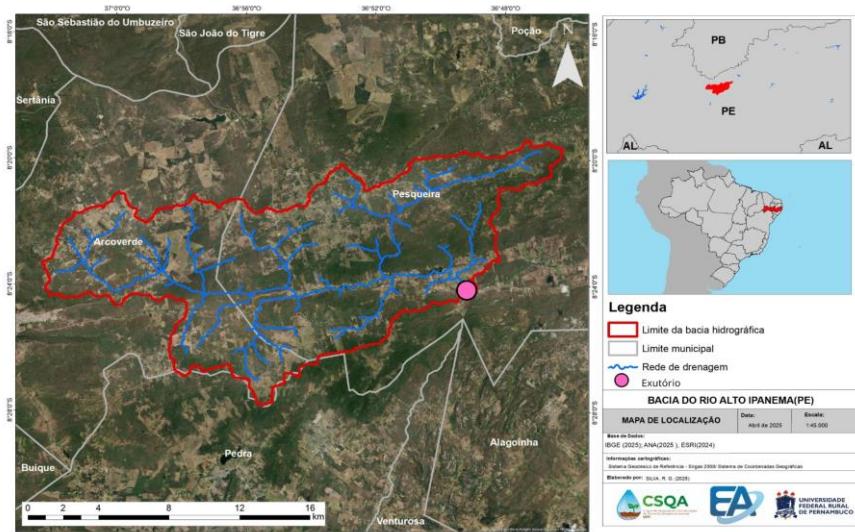
MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Alto Ipanema está inserida no estado de Pernambuco, abrangendo parte dos municípios de Arcoverde e de Pesqueira, localizando-se entre as coordenadas $8^{\circ}34'17''$ e $8^{\circ}18'11''$ de Latitude Sul, e $37^{\circ}1'35''$ e $36^{\circ}47'20''$ de Longitude Oeste. A bacia tem uma área aproximada de $187,55 \text{ km}^2$, com perímetro de 90,25 km. Ao Norte faz limite com a bacia do rio Ipojuca e a oeste, com a bacia do rio Moxotó (Silva Junior et al., 2011).

O clima da bacia do rio Ipanema é tropical semiúmido (Alagoas, 1998 apud Lima, 2007) onde a seca na região é diminuída quando comparada a outras regiões nordestinas devido à sua posição geográfica, confrontando com o planalto Borborema, ao sul com o rio São Francisco e recebendo influência também do oceano Atlântico. A cobertura da área de estudo é bioma caatinga, destacando-se coberturas de diferentes densidades e pastagem. As coberturas de vegetação natural são as seguintes: caatinga arbórea fechada, caatinga arbustiva-arbórea aberta e fechada, Caatinga arbórea-arbustiva aberta, Vale caatinga, pastagens. Pastagens e terras agricultáveis predominam nas terras baixas do vale do Mimoso (Montenegro et al., 2010).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, bacia hidrográfica do Alto Ipanema – PE



Coleta e análise de dados de precipitação

Foram utilizados os dados pluviométricos diários de dois pluviômetros no período entre 2000 e 2024. Entre eles, um pluviômetro convencional – estação 82890 (PCP1-82890) localizado no município de Arcoverde e monitorado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e um pluviômetro monitorado pelo Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) localizado no município de Pedra – estação 208 (PCP-208). Além dos pluviômetros previamente mencionados, também foram incluídos no estudo quatro equipamentos localizados na bacia experimental do riacho Jatobá. Dentre eles, três são pluviômetros automáticos com registros contínuos de dados entre os anos de 2000 e 2018 (PCP-1, PCP-2, PCP-3). O quarto é um pluviômetro manual, operado pela comunidade local (PCP-S), que realiza medições diárias de precipitação, com dados disponíveis no período de 2000 a 2024. Todos esses equipamentos são monitorados pelo Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), o que garante a confiabilidade e a continuidade das séries temporais analisadas.

Para cada série de chuvas máximas anuais, foi calculada a média aritmética e o desvio-padrão. Essa análise permite compreender o comportamento das chuvas máximas anuais em cada estação pluviométrica, identificando os valores mais altos e a variabilidade desses eventos ao longo dos anos. Depois das séries organizadas em ordem decrescente, foi determinada a probabilidade de ocorrência relativa a cada chuva máxima anual, utilizando-se a equação de Kimbal (Villela e Mattos, 1975), para séries curtas:

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (1)$$

sendo n o tamanho da série disponível e m o número do evento.

Em seguida, ajustou-se a distribuição de probabilidade de Gumbel, definida pelas equações 2,3,4, e 5 para modelar a frequência das chuvas intensas diárias para as seis estações, uma vez que essa distribuição se mostrou adequada para várias localidades do Estado de Pernambuco (Souza et al., 2012).

$$P = 1 - e^{-e^{-b}} \quad (2)$$

$$b = a * (X - Mo) \quad (3)$$

$$a = \frac{\sigma n}{\sigma x} \quad (4)$$

$$Mo = \bar{X} - \sigma x \frac{Yn}{\sigma n} \quad (5)$$

sendo P a probabilidade de ocorrência; b , a e Mo parâmetros que dependem das características da chuva; X o evento te chuva; \bar{X} a média da série de chuvas; σx o desvio padrão da série de chuvas; σx o desvio padrão reduzido (tabelado para 20 anos como 1,0628); e Yn a média reduzida (tabelada para 20 anos como 0,5236).

Visando avaliar a adequabilidade da distribuição de Gumbel, foi aplicado o teste de aderência de Kolmogorov-Sminov ao nível de 5% de probabilidade (Silva et al., 2012). Quando a distribuição de Gumbel apresenta aderência com a distribuição teórica observada, pode-se, através da Equação 6, estimar as alturas de chuvas máxima de “um dia” para os períodos de retorno desejados, que no presente estudo foram de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, a partir das seguintes expressões:

$$X = \frac{b^2}{a} + Mo \quad (6)$$

$$b2 = -\ln(-\ln(-1 \frac{1}{Tr})) \quad (7)$$

sendo X a altura de chuva máxima de “um dia” (mm), $b2$ um parâmetro de ajuste e Tr o tempo de retorno (anos).

Após se obter a chuva máxima diária provável para cada tempo de retorno, foi aplicada a metodologia de desagregação da chuva, com o intuito de converter a chuva de um dia em tempos de duração que variam de 24 horas a 5 minutos, possibilitando estimar as intensidades de chuva

correspondentes para cada tempo (Cardoso et al., 1998). A desagregação da chuva foi calculada multiplicando-se o valor inicial da chuva por um coeficiente de desagregação correspondente a cada tempo que se deseja desagregar (CETESB, 1986).

Ajuste das curvas IDF

Após a aplicação das precipitações estimadas para cada tempo de retorno, aplicou-se a metodologia de desagregação de chuva, abordagem que se objetivou em converter a chuva máxima diárias em durações que variam de 24 horas a 5 minutos, assim permitindo estimar as intensidades de chuva correspondentes para cada intervalo de tempo. A desagregação da chuva foi calculada multiplicando-se o valor inicial da chuva por um coeficiente de desagregação correspondente a cada tempo que se deseja desagregar (CETESB, 1986).

Para conversão da chuva de “um dia” em 24 horas utilizou-se o coeficiente recomendado por Torrico (1974), por apresentar uma proximidade mais realista com o clima do Estado de Pernambuco (Silva et al., 2012). Com as intensidades de chuva obtidas a partir da desagregação da chuva máxima diária, foi executado o ajuste da equação de Intensidade-Duração-Frequência (curva IDF), conforme proposto por Pfafstetter (1958) (Equação 8), realizado no Excel com auxílio do solver. A equação de Pfafstetter é utilizada para representar a relação entre a intensidade de chuva, a duração do evento e o período de retorno. Essa equação possui quatro parâmetros empíricos (K, a, b e c) que dependem das características climáticas e pluviométricas da localidade em estudo.

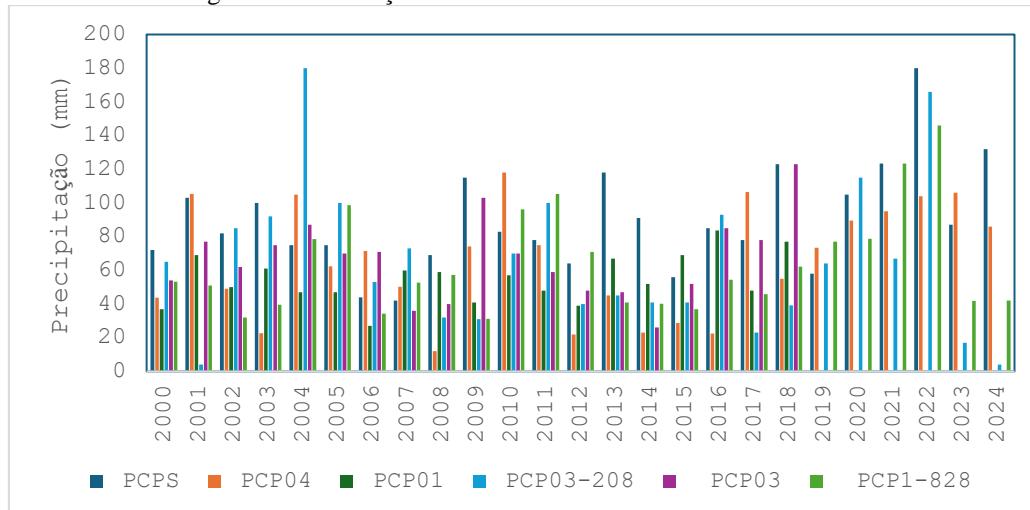
$$i = \frac{k * Tr^a}{(t+b)^c} \quad (8)$$

onde i é a intensidade da chuva (mm h^{-1}), Tr o tempo de retorno (anos), t a duração da chuva (minutos) e K , a , b , c os parâmetros empíricos. Para avaliar a eficiência dos ajustes da Equação IDF, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2), o coeficiente NSE (Nash e Sultcliffe, 1970) e a porcentagem do erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

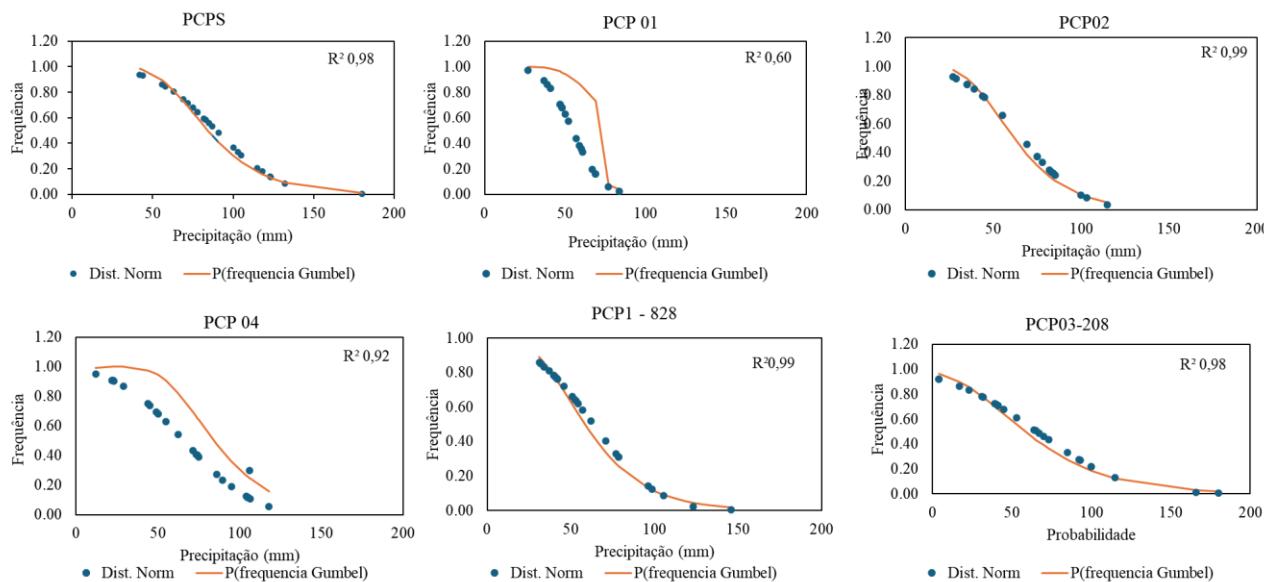
Na figura 2 é apresentado o gráfico de ocorrência das chuvas máximas anuais, sendo possível observar a frequência da ocorrência da chuva anual para cada estação avaliada, no período de 2000 a 2024, tendo sido atingida uma precipitação equivalente a 180 mm como o pico da chuva pela estação PCPS no ano 2004. É também notório observar através do gráfico que no ano de 2022 foi o ano que teve maior registro de chuvas para quase todas as estações do estudo.

Figura 2. Distribuição da ocorrência das chuvas máximas anuais



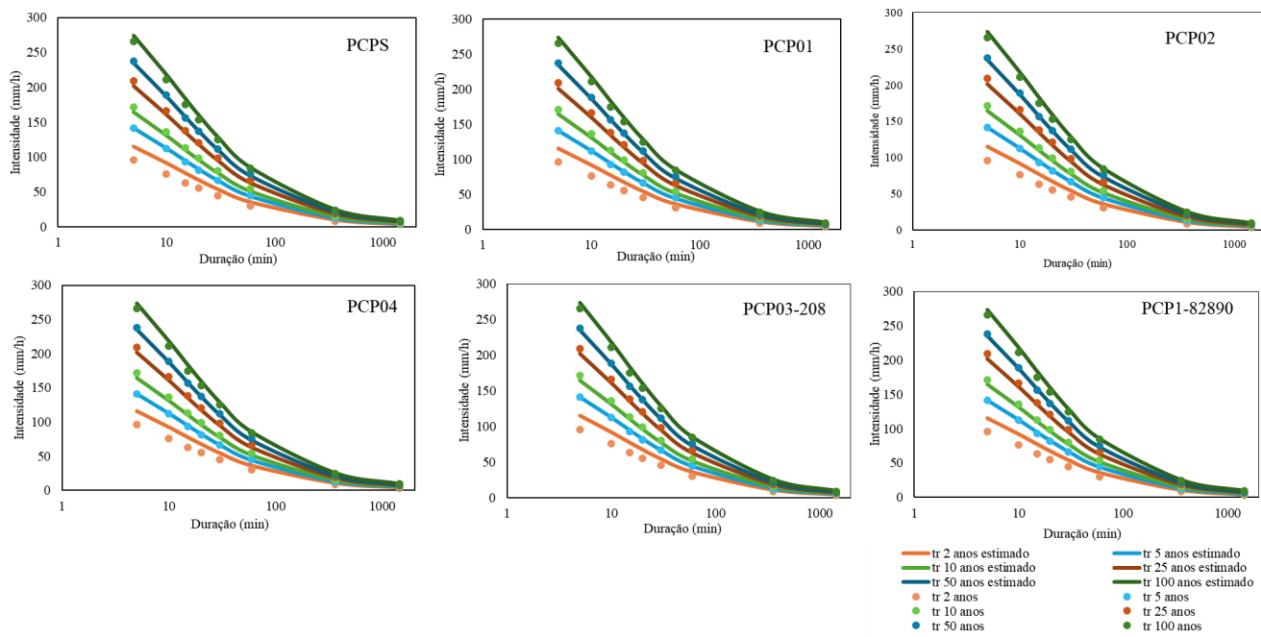
Na Figura 3 é apresentada a dinâmica da chuva máxima provável em função do tempo de retorno para cada estação estudada. O método de Gumbel, para as seis estações, foi satisfatório na representação da distribuição de frequência das máximas chuvas diárias. É também possível observar que os gráficos de dispersão mostram a relação entre as distribuições observadas e as estimadas nas seis estações de acordo com os valores do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,92$) indica que o modelo de Gumbel explica aproximadamente 90% da variabilidade dos dados observados. Exceto na estação PCP01 onde o ($R^2 = 0,60$) é menor comparativamente as demais estações, este fato pode ter sido causado pelos desafios que alguns pontos riacho do Jatobá enfrentam devido ao relevo e clima semiárido da região, onde a irregularidade das chuvas pode ter levado a variações significativas nos dados coletados, exigindo uma análise cuidadosa e a aplicação de técnicas de correção para garantir a precisão das informações. Já em relação as demais estações PCPS (A), PCP04 (B), PCP01-208 (D), PCP2 (E) e PCP1-828 (F), podemos observar que existe uma correlação boa entre a precipitação estimada e a observada, percebe-se pelo alto valor do coeficiente de determinação (R^2).

Figura 3. Distribuição de frequência teórica e de Gumbel para as chuvas máximas diárias nas estações pluviométrica do Alto Ipanema PCPS, PCP04, PCP01, PCP03-208, PCP2 e PCP1-82890.



Os parâmetros ajustados da Equação IDF e as métricas de eficiência do ajuste, foram “b” e “c” da equação IDF em que o valor de “b” variou entre as estações estudadas, já o parâmetro “c” não diferiu com o valor de 0,7. O parâmetro “K” foi o que apresentou maior variação entre as estações, comportamento esse também observado por Mello et al. (2003). As curvas IDF apresentadas na Figura 3 fornecem uma análise da intensidade da precipitação em relação à duração para diferentes períodos de retorno. Essas curvas são fundamentais para a previsão de eventos de chuva de diversas intensidades e frequências.

Figura 4. Curva IDF para as chuvas máximas diárias nas estações pluviométrica do Alto Ipanema PCPS, PCP04, PCP01, PCP03-208, PCP2 e PCP1-82890



Pode-se observar também que em períodos de retorno menores, como 2 anos, as chuvas são mais frequentes e menos intensa, corroborando com os resultados obtidos por Ferraz et al. (2020), onde os autores ressaltam que à medida que a duração da precipitação aumenta uma menor variação da intensidade em todos os períodos de retorno foi observada. Já para os períodos de retorno maiores, como 100 anos, são mais raros e apresentam alta intensidade, para durações curtas, a intensidade da precipitação é significativamente alta, diminuindo rapidamente à medida que a duração aumenta.

CONCLUSÕES

As regiões do alto Ipanema, apesar de apresentarem médias pluviométricas distintas, são regiões que tendem à ocorrência de chuvas intensas similares. As equações de intensidade-duração-freqüência (IDF) apresentaram ajustes satisfatórios para todas as localidades analisadas da Bacia do Rio Alto Ipanema (PCPS, PCP04, PCP01, PCP03-208, PCP2 e PCP1-828). Assim, pode ser usada para embasa o planejamento e a gestão dos recursos hídricos para estas. O parâmetro “K” da equação IDF, representa o coeficiente mais sensível a variações em função da localidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pela disponibilidade dos dados de chuva para o Estado de Pernambuco ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco-FACEPE, à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), e à Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP.

REFERÊNCIAS

- ALAGOAS. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema*. Maceió: Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais, 1998.
- ALVES, J.M.B.; SILVA, E.M.; SOMBRA, S.S.; BARBOSA, A.C.B.; SANTOS, A.C.S.; LIRA, M.A.T. (2017) *Eventos extremos diários de chuva no Nordeste do Brasil e características atmosféricas*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 2, p.
- BARBINO, G.C.; SILVA, J.M. DA; ARAUJO CARAMELLO, N.D.; ANDRADE, N.L.R. DE. (2024) *Os eventos extremos como instrumentos de informação na gestão dos recursos hídricos*. Revista Brasileira de Climatologia, v. 34, n. 20, p. 224–241.
- BLENKINSOP, S.; MUNIZALVES, L.; SMITH, A.J.P. (2021) *Climate change increases extreme rainfall and the chance of floods*. ScienceBrief Review: Climate change increases extreme rainfall and the chance of floods. In: Critical Issues in Climate Change Science. v1.
- CARDOSO, C.O.; ULLMANN, M.N. BERTOL, I. (1998). *Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC)*. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 22(1), pp.131-140.
- CETESB. (1986). Drenagem Urbana: manual de projeto. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 464 p.
- FERRAZ, L. L.; NEVES, J. R. D.; GONÇALVES, L. J.; DE SOUSA, L. F.; OLIVEIRA, L. B. (2020). “*Determinação da equação intensidade-duração-frequência da precipitação para a cidade de Itabuna, Bahia (Brasil)*”. Revista Brasileira de Meio Ambiente, pp. 87-98.
- LIMA, V. C. G. da R. *Aplicação do Modelo MGB-IPH à Bacia do Rio Ipanema –AL*. Parte I: Preparação do Arquivo de Entrada Principal. Monografia de graduação, Universidade Federal de Alagoas UFAL, 2007
- LOO, Y.Y.; BILLA, L.; SINGH, A. (2015). *Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia*. Geoscience Frontiers, 6(6), pp. 817-823.
- MELLO, C.D.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. (2003). *Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27(5), pp. 925-933.
- MONTENEGRO, S., MONTENEGRO, A. A. A., R.Ragab. *Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modelling study*. Irrigation Science, v.28, p.301 - 316, 2010
- NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles*. Journal of Hydrology, 10(3), pp. 282-290.
- Pfafstetter, O. (1958). *Chuvas intensas no Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 426 p.

SABINO, M.; SOUZA, A.P.; ALMEIDA, F.T.; ZOLIN, C.A.; LISBOA, L. (2022) *Desagregação de chuvas diárias no Estado de Mato Grosso*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 37, n. 4, p.

SILVA JUNIOR, V.P.; MONTENEGRO, A.A.A.; SILVA, T.P.N.; GUERRA, S.; SANTOS, E.S. *Produção de água e sedimentos em bacia representativa do semiárido pernambucano*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 10, p. 1073-1081, 2011

SILVA, B.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, F.D.; ARAÚJO FILHO, P. D. (2012). *Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 17(3), pp. 135-147.

SOUZA, M.L.M.; NASCIMENTO, F.R. *Estudos geoambientais de bacias hidrográficas em áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil*. Revista Colombiana de Geografía, v. 24, n. 1, p. 13-27, 2012.

TORRICO, J.J.T. (1974). *Práticas hidrológicas*. Rio de Janeiro: Transcon, 119 p

TUCCI, C. E. M. (2013). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS. ABRH. 943p

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 p.